
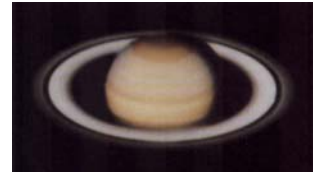


BÖLÜM 8 Satürn

Güneş'e ortalama uzaklık	9.572 AB = 1.432×10^9 km	
Güneş'e en büyük uzaklık	10.081 AB = 1.508×10^9 km	
Güneş'e en küçük uzaklık	9.063 AB = 1.356×10^9 km	
Yörünge dışmerkezliği	0.053	
Ortalama yörünge hızı	9.64 km/sn	
Yörünge (yıldızlı) dönemi	29.37 yıl	
Kavuşum (sinodik) dönemi	378 gün	
Dönme dönemi	ekvatoryal: $10^{\text{sa}}13^{\text{dk}}59^{\text{sn}}$ iç bölgeler: $10^{\text{sa}}39^{\text{dk}}25^{\text{sn}}$	
Ekvatorun yörüngeye eğikliği	26.73°	
Yörünge ekliptiğe eğimi	2.48°	
Ekvator çapı	120,536 km = $9.449 R_{\text{yer}}$	
Kutup çapı	108,728 km = $8.523 R_{\text{yer}}$	
Kütle	5.685×10^{26} kg = $95.16 M_{\text{yer}}$	
Ortalama yoğunluk	687 kg/m ³	
Kurtulma hızı	35.5 km/sn	
Yansıtma gücü	0.46	
Ortalama sıcaklık	(bulut tepelerinde) $-180^{\circ}\text{C} = 93^{\circ}\text{K}$	

8.1 Genel Özellikler

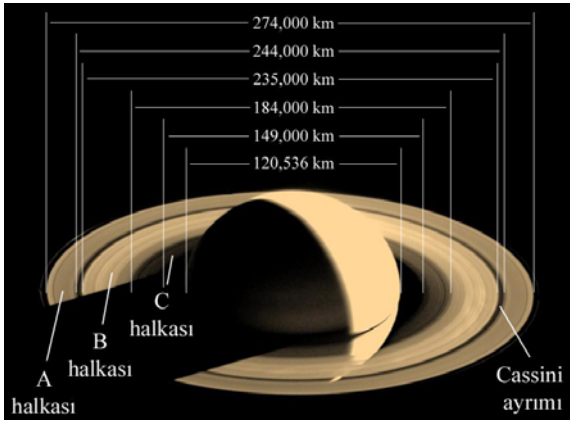
Satürn, Jüpiter'den sonra ikinci büyük dev gezegendir ve kütlesi geriye kalan yedi küçük gezegenin toplamından daha fazladır. Güneş etrafındaki yörüngesinin boyutları, Jüpiter'in yörüngesinin iki katı olmasına karşın büyük boyutları ve yüksek albedosu ile Yer'den çıplak gözle bakıldığında oldukça parlak görülebilmektedir. Yer'den teleskop ile bakıldığında (Şekil 8.1, 1.5m ayna çaplı teleskop ile elde edilmiştir) Satürn'ü diğer gezegenlerden farklı kılan en önemli özelliği, çevresini saran büyük



Şekil 8.1 Yer'den Satürn'ün görünümü

boyutlu bir halkaya sahip olmasıdır. Galileo 1610 yılında, Satürn'ü teleskop kullanarak gözleyen ilk kişiydi ve gezegenin görünen diskinin iki yanında aydınlık iki şişkinliğin var olduğunu izlemişti. 1612'de bu şişkinliklerin görünmez olduğunu ve bir sene sonra tekrar görünmeye başladığını da gözlemiştir. Kendisinden sonraki gözlemciler de benzer gözlemsel bulgulara ulaşmışlardır.

1655'de Hollandalı astronom Christiaan Huygens ayırma gücü yüksek bir teleskop geliştirerek Satürn'ü gözlemeye başlamıştır ve görülen aydınlık şişkinliklerin aslında gezegeni saran basık ve ince bir halka olduğunun farkına varmıştır. Yer'den bakıldığında tam kenar hizasından gözlemlendiğinde bu halka görünmez oluyordu. Diğer zamanlarda ise üstten veya alttan görülebilen açılarda izleniyor ve tekrar görülmeye başlıyordu. Galileo'nun bu halkayı, görünen disk kenarında iki şişkinlik olarak görmesinin nedeni kullandığı teleskobun düşük ayırma gücünden kaynaklanıyordu. Huygens'in keşfini takip eden birkaç yıl boyunca halkalardaki görünüm değişikliği çok sayıda gözlemci tarafından izlenmiş ve doğrulanmıştır. Teleskop teknolojisinde zamanla oluşan gelişmeler sonucu Satürn'ün halkasının aslında iç içe geçmiş bir halkalar sistemi olduğu anlaşılmıştır (Şekil 8.2). 1675 yılında İtalyan astronom Gian Domenico Cassini karanlık ve dar bir halkanın aydınlık görünen iki halkayı birbirinden ayırdığını görmüştür. 4500 km genişliğe sahip ve boşluk gibi görünen bu yapı "*Cassini ayrımı*" olarak adlandırılmıştır. Cassini ayrımının dışındaki aydınlık halkaya "*A halkası*", gezegene daha yakın olan içteki aydınlık kısma ise "*B halkası*" adı verilmiştir. 1800'lü yılların ortasında ise B halkasından daha içte yer alan ve "*C halkası*" olarak adlandırılan



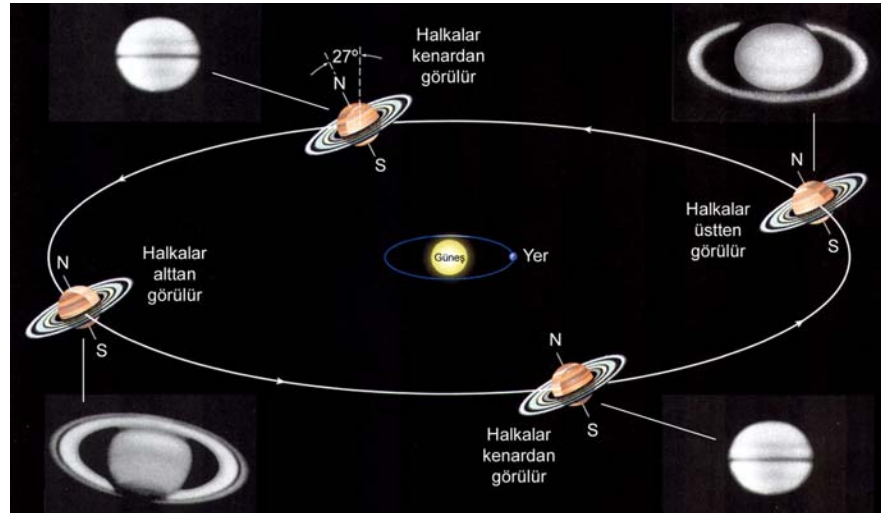
Şekil 8.2 Satürn'ün halkaları

daha sönük bir halkanın varlığı keşfedilmiştir. (C halkası "*Crepe halkası*" olarak da bilinir).

Satürn, diğer dış gezegenler gibi, Yer'den bakıldığında en iyi karşıkonum zamanlarında gözlenebilmektedir. Bu tarihlerde gezegenin görünen

diskisi 20" boyutlarına ulaşabilmekte ve amatör bir teleskopla dahi A ve B halkaları belirgin olarak görülebilmektedir. Ancak C halkasının Yer'den izlenebilmesi için büyük teleskoplar ve ideal hava koşulları gerekmektedir.

Halkaların Yer'den bakıldığındaki görüntüsü, Satürn'ün Güneş etrafındaki yörüngesi boyunca hareket etmesiyle değişim göstermektedir. Halkalar Satürn'ün ekvator düzleminde yer almaktadır ve bu düzlem, gezegenin yörünge düzlemi ile 27° civarında bir açı yapmaktadır. Satürn Güneş etrafında hareket ettiği sürece, dönme ekseninin ve ekvator düzleminin uzaydaki yönelimi daima aynı kalmaktadır (Aynen Yer'de olduğu gibi). Bu durumda bir Satürn yılı boyunca halkalar Yer'den değişik açılar altında görülmektedir (Şekil 8.3). Belirli zamanlarda Satürn'ün kuzey kutbu Yer'e doğru yönelmiş durumdadır ve bu koşullarda halkalar üstten görülürler. Yarım Satürn yılı sonra Satürn'ün güney kutbu Yer'e yönelir ve halkalar alttan izlenir. Bakış doğrultumuzun tam olarak halka düzlemi ile çakıştığı zamanlarda ise halkalar yandan izlenirler ve görünür olmaktan çıkarlar. Bu durum halkaların çok ince olduğunun bir göstergesidir. Halkaların son "kenardan-görünüm"ü 1995-1996 yılları arasında gerçekleşmiştir. Bir sonraki kenardan-görünüm ise 2008-2009 yılları arasında oluşacaktır. 2008 yılına kadar Yer'den yapılacak gözlemlerde halkalar alttan izlenecektir.



Şekil 8.3 Satürn halkalarının Yer'den izlenen görünüm açısı değişimi

8.2 Halkaların İçeriği

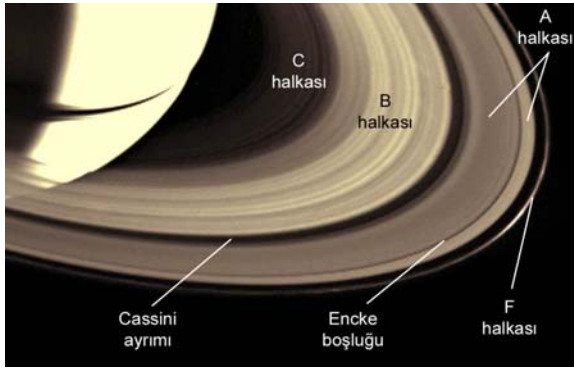
Astronomlar Satürn'ün halkasının tek parçadan oluşma katı bir cisim olmadığını uzun zamandan beri bilmektedirler. 1857 yılında İskoç fizikçi James Clerk Maxwell, Satürn'ün halkasının tek parçadan oluşma katı bir cisim olması halinde, gezegenin değişik noktalarına uygulayacağı çekim kuvvetinin etkisi altında parçalanması gerektiğini teorik olarak göstermiştir. Buna göre Satürn'ün halkalarının sonsuz sayıda birbirinden bağımsız parçacıktan oluştuğu sonucuna varmıştır. 1895 yılında James Keeler, yaptığı tayfsal gözlemlerle, halkaların katı cisim olmadığını doğrudan kanıtlamıştır. Keeler, halkaların değişik bölgelerinden elde ettiği tayflardaki çizgilerin farklı doppler kaymaları verdiğini tespit etmiştir. Halkalar gezegen etrafında döndükçe, yaklaşan kenar maviye kaymış tayf çizgileri verirken, uzaklaşan kenar kırmızıya kaymış tayf çizgileri üretmektedir. Bunun yanısıra halkanın gezegene yakın kısımlarının verdiği doppler kayma miktarları, dış tarafa yakın kısımların verdiği kadar büyüktür. Bu durum, gezegene yakın halkaların, dışta olanlara oranla daha hızlı döndüğünün ve bir bütün olarak katı bir cisim olamayacağını en güzel göstergesidir. Üstelik halkaların değişik bölgelerinde yer alan maddelerin gezegen etrafındaki yörünge hızlarının, Kepler'in 3. yasası ile uyumlu olduğu da gözlenmiştir. Bu durum, halkaların ancak küçük ve birbirinden bağımsız olarak Satürn etrafında dolanan parçacıklardan oluşması halinde mümkündür.

Satürn'ün halkaları oldukça parlaktır. Gezegenin kendisi %46 civarında bir albedoya sahipken, halkalar Güneş'ten gelen ışınımın %80'ini geri yansıtılabilmektedir. Halkaların bu yüksek albedosu, onları oluşturan maddenin ağırlıklı olarak buz parçacıkları veya kayaların üzerini kaplamış buzlar olabileceğini düşündürmüştür. 1970'lerde halkalardan elde edilen yakın-kızılöte tayflarda tipik su buzundan yansıma yapılarının izlenmesiyle bu durum açıklık kazanmıştır. Halkaları oluşturan parçacıkların yapısı, sırasıyla 1980 ve 1981 deki Voyager 1 ve Voyager 2 yakın geçişleri sırasında alınan kızılöte ölçümlerden daha detaylı olarak incelenmiş ve halkadaki sıcaklıkların -180°C (Güneş gören tarafta) ile -200°C (gölge bölgesinde) arasında değerlere sahip olduğu görülmüştür. Halkaları oluşturan parçacıkların boyutları, Voyager uzay aracından yansıtılan farklı radyo dalgaları yardımıyla ölçülmüştür (Yansıma oranı, yollanan ışınımın dalga boyu ile ortam parçacıklarının boyutları arasındaki ilişkiye

dayalıdır). Ölçüm sonuçları halkaların, 1 cm'den 5 m'ye kadar değişik boyutlardaki parçalardan oluştuğunu göstermiştir. Ağırlıklı olarak 10 cm boyutlarındaki parçacıklar daha hakimdir.

Halkalarda yer alan maddenin, gezegenin oluşumu sırasında uydularda toplanmayı başaramayan artık madde olduğu düşünülmektedir. Halkalardaki toplam madde miktarı oldukça düşüktür. Tamamı bir uydu oluşturacak şekilde bir araya getirilse, ancak 100 km çaplı bir cisim oluşturabilir. Ancak halka parçacıkları hiç bir zaman bir uydu oluşturamaz çünkü gezegene çok yakın konumlarda bulunmaktadır. Bunun nedenini anlayabilmek için parçacıkların birbirleri ve gezegen ile oluşturdukları çekim etkilerini incelememiz gerekir. Birbirine komşu olan parçacıklar arasındaki kütle çekim kuvvetleri, bir araya gelerek bütünleşmelerini sağlama eğilimindedir. Ancak bu parçacıklar, gezegenden farklı uzaklıklarda bulunmakta ve gezegen tarafından farklı şiddetlerde kütle çekim etkisi altında tutulmaktadır. Kütle çekimindeki bu farklılıklar tedirginlik kuvvetleri olarak bilinir ve parçacıkların birbirlerinden ayrı durmalarına neden olmaktadır. Gezegene daha yakın bir parçacık çifti arasındaki uzaklık, tedirginlik kuvvetleri etkisi altında daha büyük olmaya zorlanmaktadır. Gezegen merkezinden belirli bir uzaklıkta "*Roche limiti*" olarak adlandırılan konumlarda, parçacıkları birbirinden uzaklaştıran tedirginlik kuvveti ile parçacıklar arası kütle çekim kuvveti tam olarak dengededir. 1800'lü yılların ortalarında Fransız matematikçi Edouard Roche tarafından bir kavram olarak ortaya konan bu limitten daha iç bölgelerde, tedirginlik kuvvetleri, parçacıklar arası kütle çekimini yenebilmekte ve parçacıkların bir araya gelerek daha büyük boyutlu parçalar oluşturması yerine gezegen etrafında bir halka şeklinde dağılmasına neden olmaktadır. Şekil 8.2 de görülen halkaların tamamı, Satürn'e ait Roche limitinin içinde yer almaktadır. Gezegenlerin tüm büyük boyutlu uyduları ise Roche limitlerinin dışında bulunurlar. Herhangi bir nedenle böyle bir uydunun Roche limitinin içine girmesi halinde, tedirginlik kuvvetlerinin etkisi ile parçalanarak gezegen etrafında bir halka şeklinde dağılması gerekmektedir. Halkalarda yer alan parçacıkların, belirli boyuttan daha küçük parçalara ayrılamamasını, parçacıkları oluşturan atomların veya moleküllerin arasındaki kimyasal bağlar kontrol etmektedir. Parçacık boyutları belirli bir limite ulaştığında kimyasal bağları oluşturan kuvvetler, tedirginlik kuvvetlerine baskın çıkar ve parçacığın daha fazla parçalanmasına engel olur.

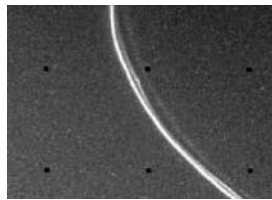
8.3 Halkaların Yapısı



Şekil 8.4 Satürn halkalarının detayı (Voyager 1)

Şekil 8.1 deki gibi Yer'den elde edilen görüntülerde, A, B ve C halkaları kendi içlerinde tekdüze yapılara sahipmiş gibi görünmektedir. Ancak insansız uzay araçları ile elde edilen yakın plan görüntülerden halkaların oldukça karmaşık ve kimyasal yapıda belirgin farklılıklar gösteren yapılar içerdiği izlenmiştir. Satürn'ün halka sistemi hakkındaki mevcut detaylı bilgilerimizi, Pioneer 11 (1979), Voyager 1 (1980) ve Voyager 2 (1981) insansız araçlarının yakın geçişler sırasında elde ettiği verilere borçluyuz. Şekil 8.4'de Voyager 1 aracının çektiği bir görüntü izlenmektedir. Bu görüntüde 1838 yılında Alman astronom Johann Franz Encke tarafından keşfedilen, ve A halkasını iki parçaya ayıran "Encke Boşluğu" açıkça görülebilmektedir. Bu görüntü öncesine kadar, tekdüze yapıya sahip olduğu sanılan A, B ve C halkalarının, aslında son derece karmaşık ve birbirine hiç benzemeyen iç içe geçmiş sayısız "halkacık"tan oluştuğu görülmüştür. Her bir halkacıktaki parçacık boyutu ve konumları; komşu parçacıklar, büyük boyutlu uydular ve gezegenin uyguladığı çekimsel tedirginlik kuvvetleri tarafından kontrol edilmektedir.

Voyager uzay araçlarının kameraları, ilk kez Pioneer 11 tarafından keşfedilen ince F halkasının Şekil 8.5'de görülen detaylı görüntülerini de elde etmiştir. Şekil 8.4'te de ince bir şerit olarak görülen bu halka 100 km genişliğinde olup A halkasının dış



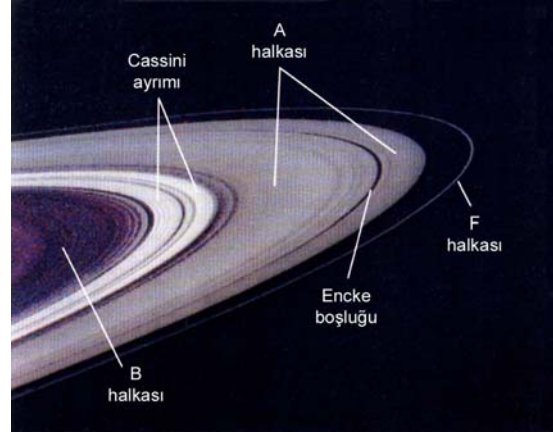
Şekil 8.5 F halkası

kenarından 4000 km uzaklıkta yer almaktadır. Yakın plan görüntülerde bu halkanın, birbirine dolanmış birkaç şerit yapısı gösterdiği izlenmektedir. Bazı Voyager 1 görüntülerinde F halkasının birbirine dolanmış ve her biri 10 km genişliğe sahip beş ayrı şeritten oluştuğu görülmektedir. Bu durumun, F halkası içinde yer alan ve

Şekil 8.1 deki gibi Yer'den elde edilen görüntülerde, A, B ve C halkaları kendi içlerinde tekdüze yapılara sahipmiş gibi görünmektedir. Ancak insansız uzay araçları ile elde edilen yakın plan görüntülerden halkaların oldukça karmaşık ve kimyasal yapıda belirgin

görülemeyen küçük uyduların kütle çekim etkisi ile ortaya çıktığı düşünülmektedir.

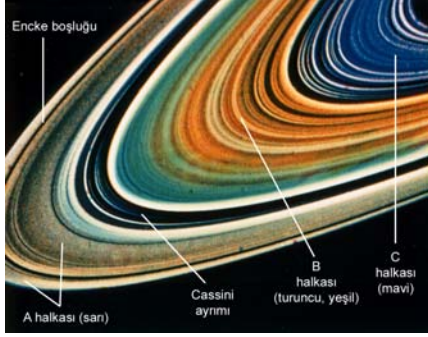
Uzay araçları, halkaları değişik açılar altında izleyebilmemize olanak tanımışlardır. Yer'den bakıldığında halkaların sadece Güneş ışığı tarafından aydınlatılmış



Şekil 8.6 Halkaların Güneş ışığı almayan tarafı

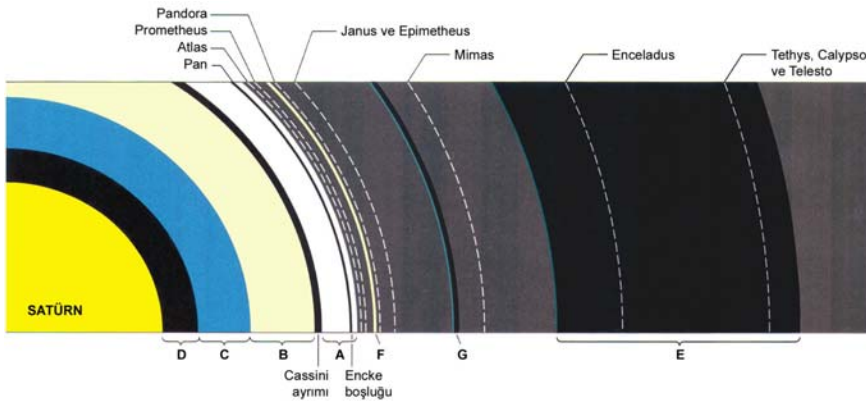
yüzünü görme şansına sahibiz. Bu koşul altında, B halkası en parlak, A halkası biraz daha sönük ve C halkası ise oldukça karanlık görülebilmektedir. Cassini ayrımı ise tamamen karanlık bir görüntüye sahiptir. Halkaların yansıttığı Güneş ışığı oranı (albedo), içerdikleri parçacıkların boyutlarına ve birim hacimdeki sayılarına bağlıdır. B halkasının parlak görülme nedeni, görel olarak daha çok sayıda buzlu ve büyük boyutlu parçacık içermesindedir. Cassini ayrımında ise bu türden parçacık sayısı önemli oranda düşüktür. Voyager uzay araçları, halkaların Güneş ışığı almayan tarafından da görüntüler elde etmişlerdir. Şekil 8.6 da Voyager 1 aracı tarafından elde edilen bu tür bir görüntü izlenmektedir. Bu görüntüde Güneş ışığı halkanın diğer yüzüne vurarak uzay aracının bulunduğu tarafa doğru geçmektedir. B halkası bu görüntüde en karanlık yapı olarak izlenmektedir. Bu durum doğaldır çünkü B halkası, yüksek albedosu nedeniyle, gelen Güneş ışığının büyük bir kısmını geri yansıtılmaktadır. Eğer Cassini ayrımı tamamen bir boşluk olsaydı bu görüntüde siyah renkte görülmesi gerekirdi. Ancak şekilde en aydınlık görülen yapı Cassini ayrımıdır. Bu görüntü Cassini ayrımının bir boşluk olmadığı ve görel olarak az sayıda parçacık içerdiğinin bir kanıtı olmaktadır. Bir ışık demetinin yayılma doğrultusu, geçmekte olduğu ortamın parçacıkları tarafından rastgele olarak değiştirilebilir ve bu sürece "ışık saçılması" adı verilir. Bir ışın demetinden saçılan ışık oranı, ortamdaki parçacık boyutlarına ve gelen ışığın dalgaboyuna bağlıdır. Bir önceki bölümde gördüğümüz gibi radyo dalgaları ile belirlenebilen parçacık boyutları cm mertebesindedir. Görsel bölge ışınımının dalgaboyları radyo dalgalarından çok daha küçüktür. Dolayısıyla görsel bölge ışık

saçılması ile çok daha küçük parçacıkların boyutları ölçülebilmektedir. Her iki Voyager aracı ile yapılan saçılmış ışık ölçümlerinden, F halkasının çok sayıda $1 \mu\text{m}$ (10^{-6} m) boyutlu parçacıklardan oluştuğu anlaşılmıştır.



Şekil 8.7 Halkalarda izlenen renk farklılığı

Şekil 8.7 de Voyager 2 uzay aracının görsel ve moröte bölgede elde ettiği iki görüntünün birleştirilmesi ve bilgisayar yardımı ile renklerin abartılması sonucu ortaya çıkan halka görüntüsü izlenmektedir. İç içe geçmiş halkacıkların hepsinin rengi birbirinden farklıdır. Her ne kadar halka parçacıklarının temel kimyasal bileşimi su buzu olsa da, belirli oranda diğer elementlerin halkalar içerisindeki dağılımı bu renk farklılığını ortaya çıkarmaktadır. Halkalarda izlenen bu renk farklılığı, parçacıkların halkadan halkaya geçiş yapmadığının bir göstergesidir. Aksi durumda renk farklılığının zaman içerisinde yok olup tek düze bir renge dönüşmesi gerekirdi. Gözlenen renk farklılığı birçok astronom tarafından, farklı zamanlarda farklı maddelerin halkaya katılmış olabileceğinin bir göstergesi olarak yorumlanmaktadır. Bu senaryoya göre halkaya dışarıdan eklenen yeni madde, başıboş astroidler veya kuyruklu yıldızlarla çarpışan ve tamamen dağılan küçük uydulardan gelmiştir.



Şekil 8.8 Satürn'ün halka sistemi ve aralarında yer alan uyduların konumları

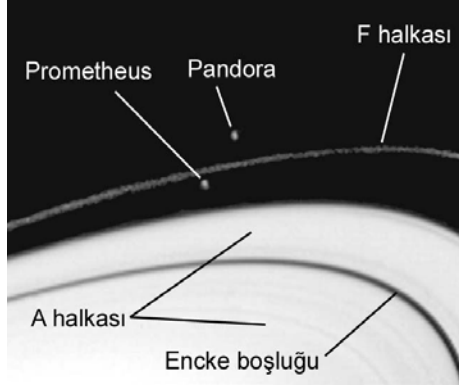
Voyager araçları, A, B ve C halkaları hakkındaki detayları açığa çıkarmanın yanı sıra, D, E ve G halkaları olarak adlandırılan üç yeni halkanın da var olduğunu keşfetmiştir. Şekil 8.8'de yer alan çizimde halkaların Satürn gezegeni etrafındaki bazı uydularla beraber dizilişi görülmektedir. D halkası Satürn'ün en içte yer alan halka sistemidir ve son derece sönüktür. İç sınırı Satürn'ün bulut tepelerine kadar ulaşabilmektedir. E ve G halkaları ise gezegenden oldukça uzakta ve F halkasının da dışında yer almaktadır. Satürn'ün buzlu uydusu Enceladus'un yörüngesi, sönük E halkasının içinde kalmaktadır. E halkasında yer alan küçük buzlu parçacıkların kökeninin, Enceladus'da bir zamanlar etkin olan su gayzerleri olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla E halkasını oluşturan sürecin, Io-Torus'u oluşturan süreçten çok da farklı olmadığı tahmin edilmektedir.

8.4 Satürn'ün İç Uyduları ve Halkalar Üzerine Etkileri

Satürn'ün halkalarında izlenen karmaşık organizasyon yapısı, halka maddesinin değişik kütle çekim etkileri altında kaldığının bir göstergesidir. Gezegenin kütle çekimi, parçacıkların bir yörünge üzerinde gezegen etrafında dolanmalarını sağlamaktadır. Halkalar arasında yer alan uyduların kütle çekim etkisi ise, halkanın tekdüze bir yapıdan çıkıp karmaşık yapılı halkacıklar oluşturmaya neden olmaktadır. Astronomlar Satürn'ün orta boyutlardaki uydusu Mimas'ın, halka yapısı üzerinde belirleyici bir rol oynadığını uzun süreden beri bilmektedirler. Mimas'ın yörünge dönemi 22.6 saattir. Kepler yasalarına göre Cassini ayrımındaki parçacıkların Satürn çevresinde 11.3 saate bir dolanmaları gerekmektedir. Sonuç olarak Cassini ayrımının belirli bir bölgesinde yer alan bir parçacık seti, Satürn etrafında her ardışık iki yörüngesini tamamladığında, kendisini Satürn ile Mimas arasında bulacaktır. Ardışık olarak tekrarlanan bu diziliş sırasında, Satürn ve Mimas'ın birleşik çekim etkisi, Cassini ayrımı bölgesindeki parçacıkların gerçek yörüngelerinden sapmasına neden olmaktadır. Bu durum, Cassini ayrımındaki görelî parçacık sayısındaki düşüklüğü açıklayabilmektedir. Mimas'ın A halkası üzerindeki bu ayırıcı etkisine karşın, Satürn'ün diğer iki uydusu Pandora ve Prometheus F halkasının bir arada durmasını sağlamaktadır. Voyager araçları ile varlığı keşfedilen bu uydular F halkasının iki yanında yer almaktadır (Şekil 8.9). Daha dışta yer alan Pandora F halkası parçacıklarından daha düşük bir yörünge hızına sahiptir. Halka

parçaları Pandora'yı geçtikçe uydunun kütle çekim etkisini üzerlerinde hissederek bir miktar frenlenirler. Böylece enerjilerinin bir kısmını yitiren parçacıklar Satürn'e daha yakın yörüngelere doğru hareket etmek zorunda kalırlar. Prometheus ise F halkası parçacıklarından daha hızlı bir yörünge hareketi yapmaktadır. Prometheus'un kütle çekimi F halkası parçacıklarını daha

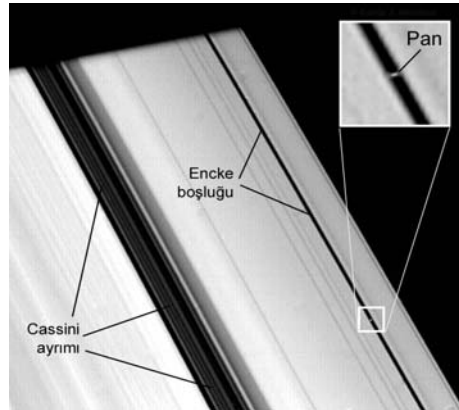
hızlı hareket etmeye zorlamaktadır. Bu şekilde ek bir enerji kazanan F halkası parçacıkları daha büyük yarıçaplı bir yörüngede hareket etmek zorunda kalırlar. Sonuçta iç ve dış kenarına yakın iki uydunun kütle çekim etkisi altında F halkası, bugün izlenen dar konumlara odaklanmak zorunda kalmıştır. F halkası parçacıklarını toplayan ve yön veren bu özelliklerinden dolayı Prometheus ve Pandora'ya "*Çoban Uyduları*" da denmektedir.



Şekil 8.9 F halkası ve iki çoban uydusu

Satürn'ün A halkasında izlenen "*Encke Boşluğu*" ise, içinde yörünge hareketi yapan Pan adındaki küçük boyutlu bir uydudan kaynaklanmaktadır. Pan 20 km çapa sahip küçük bir uydudur ve yörüngesinin her iki tarafındaki halka parçaları ile kütle çekim etkileşmesi sonucu 270 km genişliğinde izlenen bu boşluğun doğmasına neden olmaktadır. Pan'ın varlığı Encke Boşluğu'nun genişliği dikkate alınarak, daha önceden teorik

olarak tahmin edilmiştir. 30,000 Voyager görüntüsü arasından varlığını doğrudan kanıtlayan Şekil 8.10'daki görüntü, bilgisayarlarla yapılan sistematik bir aramadan sonra, ancak 1990 yılında bulunabilmiştir.



Şekil 8.10 Pan uydusu (Voyager 2)

8.5 Satürn'ün Atmosferi

Belirgin halka yapısı dışında, Satürn, Jüpiter'e çok benzer bir gezegendir. Ekvator çapı Jüpiter'den çok az bir farkla daha küçük ancak kütlesi Jüpiter kütlesinin sadece %30'u kadardır. Her iki gezegen de eksenleri etrafında diferansiyel dönme gösteren dış katmanlara sahiptir (ekvatordaki dönme

süreleri kutuplardakinden daha kısadır). Yer'den yapılan tayfsal gözlemler ve uzay araçlarından alınan veriler her iki gezegenin de hidrojen ve helyumca zengin, derin atmosferlere sahip olduklarını göstermiştir. Ayrıca az miktarda metan (CH_4), amonyak (NH_3) ve su buharı (H_2O) içermektedirler. Bu benzerliklerden hareketle Satürn atmosferinde de aynı Jüpiter atmosferindeki gibi 3 farklı bulut katmanının var olduğu düşünülmektedir. Buna göre en üstte donuk amonyak (NH_3) kristalleri içeren üst bulut katmanı, onun altında amonyum-hidrosülfid (NH_4SH) kristallerinden oluşma bir orta bulut katmanı ve en altta ise su buzu kristalleri tarafından şekillendirilen bir bulut katmanı yer almaktadır. Her ne kadar iki gezegenin atmosfer yapıları benzer olsa da dış görünüm olarak fazlaca bir benzerlikten bahsetmek mümkün değildir. Satürn bulutları Jüpiter'de izlenen belirgin renk farklılıklarından yoksundur. Yer'den ve uzay araçlarından elde edilen Satürn görüntüleri, Jüpiter'deki kadar belirgin ve farklı renkli kuşak yapıları göstermemektedir (Şekil 8.11). Ayrıca Jüpiter'de izlenen Büyük Kırmızı Leke gibi uzun ömürlü fırtına yapıları Satürn atmosferinde izlenmemektedir. Çok ender olarak birkaç gün veya hafta süren ve Şekil 8.12'de bir örneği görülen fırtına yapılarına rastlanmaktadır. Hubble Uzay Teleskobu tarafından 1994 yılında kaydedilen ekvator bölgesi civarındaki bu fırtına benzeri yapılar son 200 yıl boyunca ancak 20 defa görülebilmektedir.



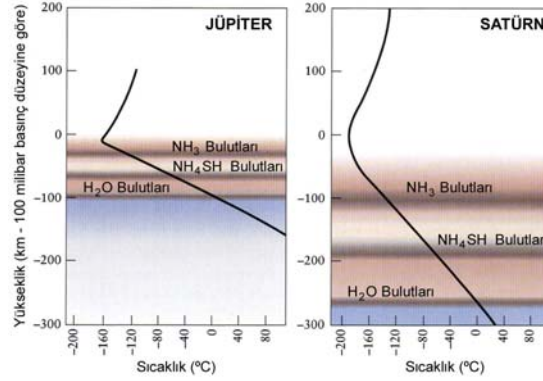
Şekil 8.11 Satürn'ün renkli kuşakları (Hubble)



Şekil 8.12 Satürn ekvatorunda izlenen bir fırtına

Satürn ve Jüpiter'in dış görünüm farklılıkları, iki gezegenin kütle farklılığı ile açıklanabilmektedir. Jüpiter'in yüksek yüzey çekimi, 3 ayrı bulut katmanını 75 km kalınlıklı bir üst atmosfer tabakasına sıkıştırmış durumdadır. Satürn'ün daha düşük kütle ve yüzey çekimine sahip olması

nedeniyle, bulut katmanları daha az sıkışmıştır ve Şekil 8.13'de görüldüğü gibi 300 km kalınlıklı bir üst atmosfer tabakasına dağılmıştır. Satürn'ün bulutları atmosferinin daha derinlerinde yer aldığından ve üstleri daha kalın sis katmanları ile kaplı olduğundan belirgin renk farklılıkları göstermemektedirler. Satürn bulutlarındaki bazı belirgin yapıların izlenmesiyle üst atmosfer katmanlarındaki rüzgar hızları belirlenmiştir. Jüpiter'de olduğu gibi doğu-batı doğrultusunda zıt yönlerde esen hakim rüzgar bantları gözlenmiştir. Ancak rüzgar hızları Jüpiter'deki değerlerden belirgin bir ölçüde daha büyüktür ve ekvator da 1800 km/sa gibi yüksek değerlere ulaşabilmektedir.



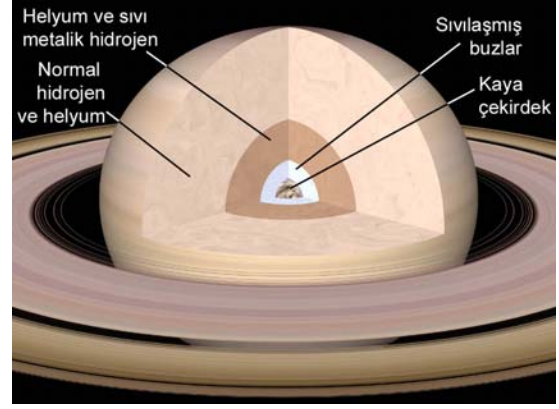
Şekil 8.13 Satürn'ün bulut katmanlarının Jüpiter ile karşılaştırılması

8.6 Satürn'ün İç Yapısı

Satürn'ün ortalama yoğunluğu sadece 687 kg/m^3 dür. Bu değer Jüpiter'in ortalama yoğunluğunun ancak yarısı kadardır ve Güneş Sistemi'nde bilinen en düşük ortalama yoğunluk değeridir. Satürn'ün bu düşük yoğunluğu, büyük ölçüde hidrojen ve helyumdan oluştuğunun açık bir delilidir. Satürn'ün düşük kütlesi, hidrojen ve helyumun kütle çekim etkisi altında, Jüpiter'e oranla daha az sıkıştırılmış olmasını gerektirmektedir ve izlenen düşük ortalama yoğunluğu açıklayabilmektedir.

Satürn Güneş Sistemi'nin, dönmeden dolayı basıncı en yüksek olan gezegenidir. Gezegenin basıncı %9.8'dir ve ekvator çapı kutup çapından %9.8 daha büyüktür. Basıncı, bir gezegenin ne derece hızlı döndüğünün, içerdiği madde

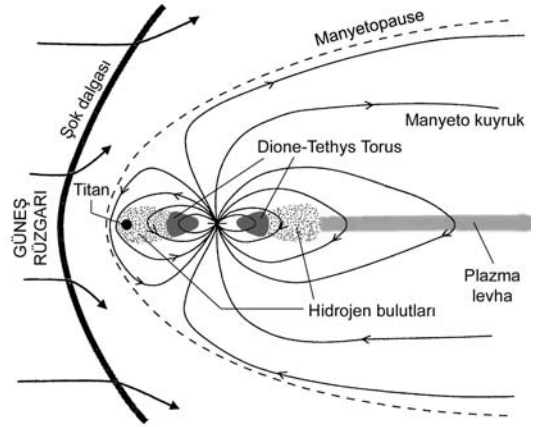
miktarının ve bu maddenin hacmi boyunca nasıl dağıldığının bir göstergesidir. Satürn kabaca Jüpiter ile aynı dönme dönemine, ancak daha düşük bir kütleyle sahiptir. Dolayısıyla daha düşük kütle çekimine sahip olduğundan yüksek dönme hızı altında ekvatoryal şişkinliği daha büyük olmaktadır. Detaylı



Şekil 8.14 Satürn'ün iç yapısı

model hesapları sonucunda Satürn'ün kütesinin %10'unun merkezindeki kayalık çekirdeğinde toplandığı düşünülmektedir. Bunun üzerinde sıvılaştırılmış buzlar (su, amonyak, metan ve bunların bileşikleri) içeren bir dış çekirdek katmanı bulunmaktadır. Dış çekirdek, Jüpiter'de olduğu gibi, ancak kalınlığı daha düşük bir sıvı helyum ve sıvı metalik hidrojen manto ile sarılıdır. Manto ise en dışta normal helyum ve hidrojen içeren bir katman tarafından sarılmış durumdadır (Şekil 8.14).

Jüpiter ile karşılaştırıldığında daha düşük kütleyle, çekime ve iç basınca sahip olan Satürn'ün sıvı metalik hidrojen içeren manto katmanı doğal olarak daha incedir. Jüpiter'de izlenen ileri düzeydeki manyetik alanın, sıvı hidrojen katmanında akışkan hareketleri ile üretildiğini görmüştük. Satürn'de bu katmanın daha ince olması nedeniyle daha zayıf bir manyetik alan izlenmektedir. Buna bağlı olarak Satürn'ün manyetosferi Jüpiter'inkine oranla daha düşük bir hacim kaplamaktadır (Şekil 8.15). Satürn'ün manyetik eksenini ile dönme eksenini arasındaki açı 1° 'den küçüktür ve manyetik merkez kütle merkezi ile neredeyse çakışıktır. Bu iki



Şekil 8.15 Satürn'ün manyetosferi

merkezin birbirine yakınlığı, manyetik alanın üretildiği bölgenin kütle merkezine yakın olduğunun bir göstergesidir. Satürn manyetosferi Jüpiter'e oranla daha az sayıda yüklü parçacık içermektedir. Bunun temel iki nedeni bulunmaktadır. Satürn'ün, Io gibi etkin volkanları aracılığı ile tonlarca iyonize maddeyi manyetosfere bırakan bir uydusu yoktur. İkinci ve en önemli nedeni ise Satürn halkalarındaki buzlu parçacıkların yüklü parçacıkları soğurmasıdır. Bu durum özellikle Satürn'e yakın iç bölgelerdeki yüklü parçacık sayısının hızla düşüş göstermesine neden olmaktadır. Gezegenden daha uzak konumlarda yer alan yüklü parçacıklar ise Dione ve Tethys uydularının yörüngelerini kapsayan simit şeklinde bir ışınım kuşağı oluşturmaktadır. Şekil 8.15'de kesiti görülen bu yapıya "*Dione-Tethys Torus*" adı verilmektedir ve Yer manyetosferinde oluşan Van Allen kuşakları ile büyük benzerlik göstermektedir. Daha yüksek enerjilere sahip yüklü parçacıklar ise manyetik alan tarafından Satürn kutuplarına indirilmektedir ve kızılöte dalgaboylarında görülen "*Satürn Aurora*"larını oluşturmaktadır (Şekil 8.16). Ayrıca Dione-Tethys Torus'u saran ve Titan uydusunun yörüngesine kadar uzanan "*hidrojen bulutları*", Satürn manyetosferinde izlenen belirgin yapılar arasındadır. Bu yapılarda yer alan hidrojenin, Güneş'in moröte ışınımı ile Titan atmosferinde parçalanmış amonyak (NH_3) moleküllerinden geldiği düşünülmektedir. Voyager araçları ile yapılan gözlemlerden, halkaların üstünde ve altında nötr hidrojen içeren ince bir gaz katmanının da var olduğu anlaşılmıştır. Bu katmanlarda izlenen nötr hidrojenin kaynağı, Güneş'in moröte ışınımı ile parçalanmış halkadaki su buzlarıdır.



Şekil 8.16 Satürn'de kutup ışınimleri

Satürn aynı Jüpiter'de olduğu gibi, Güneş'ten aldığı enerjiden daha fazlasını yayılmaktadır. Bu durum her iki gezegenin de birer ek iç ısı kaynağı olduğu anlamına gelmektedir. Bir önceki bölümde Jüpiter'in yüksek kütlesi nedeniyle, oluşumundan bu yana içinde hapsediği ısısal enerjiyi çok yavaş bir şekilde geri yayınladığını yani diğer gezegenlere oranla çok daha yavaş soğuduğunu görmüştük. Bu enerji uzaya kızılöte ışınım olarak yayılmaktadır. Satürn Jüpiter'e oranla daha düşük kütleyle sahip olduğundan, oluşumundan bu yana hapsediği iç enerjisini daha hızlı yayınlamış olmalıdır. Dolayısıyla Satürn'ün şu anda daha düşük bir kızılöte ışınım yapmasını

beklemekteyiz. Ancak Satürn Jüpiter'e oranla birim kütle başına %25 daha fazla kızılöte enerji salmaktadır. Satürn'ün bu fazladan enerji kaynağının incelenmesi ilginç sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. 1980'deki Voyager yakın geçişleri öncesinde, astronomlar Jüpiter ve Satürn'ün Güneş bulutsusundaki kimyasal bileşimi büyük oranda korumuş olduklarına inanıyorlardı. Bu kimyasal bileşimin şu anda Güneş'te izlenen oranlarla aynı olduğu kabul edilmektedir. Galileo uzay aracının Jüpiter'den aldığı ölçümler bu beklentiyi doğrular nitelikteydi. Jüpiter %86.2 hidrojen, %13.6 helyum ve %0.2 oranında diğer elementlerden oluşmaktadır. Buna karşılık Voyager ölçümleri sonucunda Satürn'ün helyumca oldukça fakir olduğu ortaya çıkmıştır. Satürn atmosferinin %96.3 hidrojen, %3.3 helyum ve %0.4 oranında diğer elementlerden oluştuğu görülmüştür. Satürn ve Jüpiter aynı Güneş bulutsusu maddesinden oluştuklarına göre, Satürn'de izlenen düşük helyum bolluğunun nedeni ne olabilir?

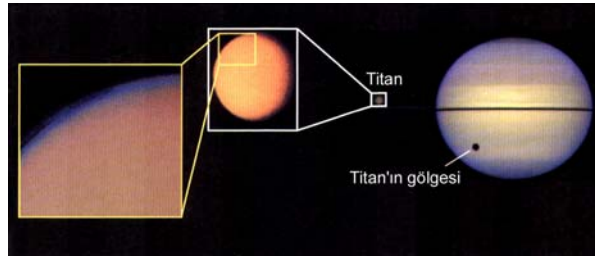
Satürn'de izlenen artık kızılöte ışıma ve atmosferindeki düşük helyum bolluğuna yapılabilecek en mantıklı açıklama, yine Satürn'ün Jüpiter'e oranla daha düşük kütlelerine dayandırılmaktadır. Buna göre Satürn kütlelerine oranla aslında daha hızlı soğumuştur. Ancak hidrojen zengin üst katmanlarında aniden düşen sıcaklık etkisiyle hızla sıvı damlacıkları halinde yoğunlaşan helyum gezegenin daha derin katmanlarına yağış yoluyla inmiş ve atmosferde gözlenen düşük He bolluğuna neden olmuştur. Daha sıcak iç katmanlara yağışla ulaşan bu helyum artan sıcaklık etkisi ile tekrar hidrojen içinde çözülmüştür. Helyum damlaları iç katmanlara ulaştıkça çekimsel potansiyel enerjilerini ısı enerjisi olarak yayınlamışlar ve iç ısının artmasına katkıda bulunmuşlardır. Yapılan hesaplamalar "*helyum yağmurları*"nın bundan 2 milyar yıl önce Satürn atmosferinde gerçekleşmiş olduğunu göstermektedir. Bu süreçle yayınlanması gereken ek ısısal enerji miktarı, bugün gözlenmekte olan artık kızılöte ışıma miktarı ile uyum göstermektedir.

8.7 Satürn'ün Uyduları

Jüpiter'in aksine Satürn, Ay boyutları ile karşılaştırılabilir yalnızca bir tane büyük uyduya sahiptir. Bu uydusu 5150 km çapa sahip Titan'dır. Güneş sistemindeki tüm uydular arasında sadece Jüpiter'in uydusu Ganymede Titan'dan daha büyüktür. Titan da

aynen Ganymede gibi düşük bir ortalama yoğunluğa sahiptir ve temelde buz ve kayalık maddelerin karışımından oluşmuştur. 1665 yılında Christiaan Huygens tarafından keşfedilen Titan'ın kendine özgü özellikleri ancak 20. yüzyıl başlarında ortaya konabilmiştir. Bilim adamları 1900'lü yılların başında Titan'ın boyutlarına bakarak bir atmosfer bulundurabileceğini düşünmeye başlamışlardır. Bu beklentinin gerçek olduğu, 1944 yılında Gerard Kuiper'in Titan yüzeyinden yansıyan Güneş ışığı tayfında metan çizgilerini keşfetmesiyle doğrulanmıştır (Şekil 1.5). Titan, Güneş sistemi içerisinde kayda değer bir atmosfere sahip tek uydula olma özelliğine sahiptir.

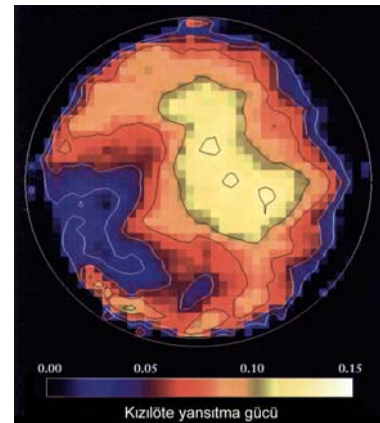
Bir atmosfere sahip olması nedeniyle Titan, Voyager uzay araçlarının ana hedefi olmuştur. Şekil 8.17'de en sağda Hubble Uzay Teleskobu ile 1995 yılında alınan görüntüde



Şekil 8.17 Titan'da atmosfer varlığını kanıtlayan görüntüler

Satürn halkaları kenardan görünmektedir ve Titan uydusunun gezegen üzerindeki gölgesi izlenmektedir. Soldaki iki detaylı Voyager görüntüsünde ise Titan'ın pürüzsüz şekli izlenmektedir. Yüzeyin bu derece pürüzsüz görünmesinin nedeni, yüzeyden 200 km yüksekliğe kadar ulaşan kalın bir atmosfer katmanı ile kaplı olmasındandır. Şekilde en solda görülen detay görüntüde, kenara yakın görülen sis yapısı atmosfer varlığına doğrudan bir kanıt sayılmaktadır. Bu sis tabakası son derece donuktur ve yüzey şekillerini gizlemektedir. Yapılan hesaplar, Titan yüzeyinde, öğle vaktinde çevre aydınlığının, Yer'de dolunay sırasında izlenen aydınlıktan daha fazla olamayacağını göstermektedir. Voyager 1 aracının Titan'a yolladığı radyo dalgalarının, atmosferden geçiş özellikleri incelenerek yüzeydeki atmosfer basıncının 1.5 atm civarında olduğu bulunmuştur. Titan'ın kütlesi Yer kütlesinden daha düşüktür ve daha zayıf bir yüzey çekim ivmesine sahiptir. Ancak atmosferinde izlenen yüksek basınç değeri kütlece daha fazla atmosferik gaz barındırdığını göstermektedir. Yapılan hesaplamalar, Titan atmosferinde yer alan gazların, kütlece Yer atmosferi gazlarından 10 kat daha fazla olduğunu göstermiştir.

Voyager verileri Titan atmosferinin %90 oranında azot moleküllerinden (N_2) oluştuğunu göstermiştir. Yüksek orandaki azotun kökeni, Güneş sisteminin bu dış konumlarının amonyakça (NH_3) çok zengin olmasına bağlanmaktadır. Amonyak Güneş'in moröte ışınımı ile kolayca parçalanarak azot ve hidrojen atomlarına ayrışabilmektedir. Dolayısıyla başlangıçta amonyakça zengin olan Titan atmosferi parçalanmış NH_3 moleküllerindeki daha ağır azot atomları ile zenginleşmiştir. Daha hafif olan hidrojen ise uzaya kaçarak, Satürn manyetosferindeki hidrojen bulutlarında hapsedilmiştir. Titan atmosferinde azottan sonra en bol izlenen gaz metandır (Metan (CH_4)). Yer'de yakıt olarak kullanılan doğalgazın temel bileşimini oluşturmaktadır. Güneş'in moröte ışınımı ile etkileşen metan molekülleri, "hidrokarbonlar" adı verilen diğer karbon-hidrojen bileşiklerini oluştururlar. Voyager araçlarında yer alan moröte tayfçekerleri Titan atmosferinde düşük miktarda etan (C_2H_6), asetilen (C_2H_2), etilen (C_2H_4) ve Propan (C_3H_8) gazlarının var olduğunu göstermiştir. Bu gazlar damlacıklar halinde yoğunlaşarak Titan yüzeyine yağış yolu ile inmektedirler. Bu yan ürünlerden etan diğerlerine oranla daha baskın sayılabilecek bir bolluğa sahiptir. Güneş sisteminin tarihi boyunca yeterli miktarda etan yoğunlaşarak yüzeye yağmış ise, Titan yüzeyinde hidrokarbon nehirleri ve hatta denizleri olması gerekmektedir. Bu olasılığı test etmek ve katı yüzeyin haritasını çıkarmak amacıyla, Titan'ın kızılöte dalgaboylarında sayısız gözlemi yapılmıştır. Kızılöte dalgaboylarındaki ışınım Titan atmosferi ile etkileşimsiz yayılabilmektedir. Şekil 8.18'de bu gözlemlerle elde edilen kızılöte yüzey yansımaları haritasında değişik bölgelerin belirgin olarak farklı yansımaları gösterdiği görülmüştür. Koyu (mavi) renkte görülen bölgeler, kızılöte yansıtma gücü düşük yüzey şekillerini temsil etmektedir ve büyük olasılıkla sıvı hidrokarbon denizleri veya katı organik maddeler olduğu düşünülmektedir. Açık (sarı) renkte görülen alanlar ise kızılöte yansıtma gücü yüksek bölgelerdir ve buzlarla kaplı kayalık kıtalar olarak yorumlanmaktadır. Şekil 8.18'deki gibi elde edilen yüzey haritalarından, Titan'ın eş-dönmeyle sahip olduğu da kanıtlanmıştır.



Şekil 8.18 Titan'ın kızılöte yüzey haritası

Titan atmosferindeki serbest azot, yoğunlaşma ile oluşan hidrokarbonlarla, hidrojen-siyanit (HCN) gibi başka karbonlu bileşikler de üretmektedir. HCN ise diğer moleküllerle bir araya gelerek “polimer” adı verilen, tekrarlayan zincir yapılı bileşikler oluşturmaktadır. Damlacıklar halinde oluşan bazı hafif polimerler Titan atmosferinde askıda kalabilmekte ve “aerosol” adı verilen atmosferik yapıları oluşturmaktadır. Titan atmosferinin kırmızı-kahverengi görüntüsünün polimer içerikli aerosoldan kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha ağır polimer parçacıkları ise Titan’ın katı yüzeyine düşerek, büyük olasılıkla zift kıvamında yapışkan ve kalın bir yüzey tabakası oluşturmaktadır. Titan atmosferinde ve yüzeyinde bulunan bazı hidrojen-azot-karbon bileşikler canlı yaşamın yapı taşlarını oluşturan organik moleküllerdir. İlk bakışta -178°C gibi düşük ortalama yüzey sıcaklığı altında Titan’da yaşam araştırması yapmak pek de mantıklı gelmemektedir. Ancak Titan’da şu anda izlenen özellikler, bir zamanlar oluşum sürecindeki Yer’in ilkel koşullarına büyük olasılıkla çok benzemektedir ve Yer’de yaşamın kökeni ile ilgili araştırmalar için önemli bir laboratuvar olanağı sunmaktadır.

Satürn’ün 2003 yılı sonuna kadar bilinen 31 uydusu vardır. Şekil 8.19’da bunlardan iyi bilinen 18 tanesi karşılaştırmalı boyutları ile görülmektedir. Tablo 8.1’de ise bunlara ait bazı fiziksel büyüklükler listelenmiştir. Satürn ismini antik Roma’nın tarım tanrısından almıştır. Uydular ise Satürn ile ilişkili mitolojik karakterlerin isimleri ile adlandırılmıştır. Satürn uyduları boyutlarına göre üç farklı grupta incelenmektedir:

- a) Gezegen-boyutlu uydular: Bu grupta, gösterdiği boyutlarıyla Merkür-Mars arasında büyüklüğe sahip Titan yer almaktadır. 5150 km çapa sahip bu cisim karasal yapılı uydular arasında kayda değer atmosfere sahip tek örnektir.



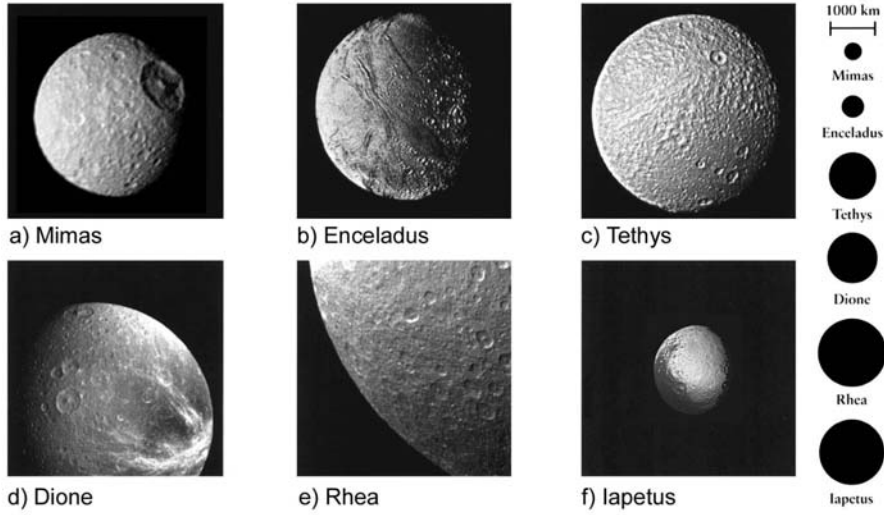
Şekil 8.19 Satürn’ün iyi bilinen 18 uydusunun karşılaştırmalı boyutları

- b) Orta-boyutlu uydular:** Tamamı 1800 yılından önce Yer'den yapılan gözlemlerle keşfedilmiş, 6 uydudan oluşma bir gruptur. Kendi içlerinde ikili alt gruplarda incelenmektedirler. Mimas ve Enceladus 400-500 km arasındaki çapları ile en küçük boyutlara sahip olanlardır. Bunları 1000 km civarındaki çapları ile Tethys ve Dione izlemektedir. Rhea ve Iapetus ise 1500 km yörresindeki çapları ile en büyük boyutlu alt grubu teşkil etmektedir.
- c) Küçük-boyutlu uydular:** Geriye kalan 24 küçük boyutlu ve küresel şekilden sapsmış uyduların oluşturduğu gruptur. İçlerinden 13 tanesi 2000 yılından sonra keşfedilmiştir. Bu uyduların bazıları, Phoebe örneğinde olduğu gibi asteroid kuşağından yakalanmıştır. Diğerleri ise çarpışmalardan geriye kalan buz ve kaya artıklarıdır. Çoban uyduları Prometheus ve Pandora çarpışma sonrası artıklara örnek olarak gösterilebilir.

Tablo 8.1 Satürn'ün 31 uydusundan iyi bilinen 18 tanesinin fiziksel özellikleri

Uydu Adı	Satürn merkezine uzaklık		Yörünge dönemi (gün)	Boyut (km)	Ortalama yoğunluk (kg/m ³)
	(km)	(Satürn yarıçapı)			
Pan	133,570	2.22	0.573	20	-
Atlas	137,640	2.28	0.602	20 x 20 x 20	-
Prometheus	139,350	2.31	0.613	140 x 100 x 80	-
Pandora	141,700	2.35	0.629	110 x 90 x 70	-
Epimetheus	151,422	2.51	0.694	140 x 120 x 100	-
Janus	151,472	2.51	0.695	220 x 200 x 160	-
Mimas	185,520	3.08	0.942	392	1400
Enceladus	238,020	3.95	1.37	500	1200
Tethys	294,660	4.89	1.888	1060	1200
Calypso	294,660	4.89	1.888	34 x 28 x 26	-
Telesto	294,660	4.89	1.888	24 x 22 x 22	-
Dione	377,400	6.26	2.737	1120	1400
Helene	377,400	6.26	2.737	36 x 32 x 30	-
Rhea	527,040	8.74	4.518	1530	1300
Titan	1,221,850	20.25	15.945	5150	1880
Hyperion	1,481,000	24.55	21.277	410 x 260 x 220	-
Iapetus	3,561,300	59.02	79.331	1460	1200
Phoebe	12,952,000	214.7	550.48 ^R	220	-

^R : Retrograt yörünge hareketi. Ortalama yoğunluğu listelenmeyen uyduların kütleleri henüz bilinmemektedir.



Şekil 8.20 Satürn'ün orta-boyutlu 6 uydusu

Bu gruplar arasında en fazla ilgi çeken, Şekil 8.20'de Voyager görüntüleri ve karşılaştırmalı boyutları verilen orta-boyutlu uydular grubudur. Bu altı uydu 1400 kg/m^3 'ün altında, oldukça düşük ortalama yoğunluklar göstermektedir. Çok az kayalık maddeye karşılık bol miktarda donmuş su ve amonyaktan oluşmuşlardır. Satürn'ün ekvator düzleminde yer alan yörüngelerinde prograd yönde dolanmaktadır. Hepsi de eş-dönmeye sahiptir. Yalnızca yüzey şekilleri açısından belirgin farklılıklar göstermektedirler. Bunlardan Satürn'e en yakın olan Mimas, yüksek kraterleşme oranı gösteren yüzeyindeki devasa boyutlu bir çarpma krateri ile belirgin bir ayrıcalığa sahiptir. Yapılan hesaplamalar bu çarpışmanın, Mimas'ı tamamen parçalayacak limitin biraz altında bir şiddetle gerçekleştiğini göstermektedir. Mimas'ın yakın komşusu Enceladus'un yüzeyi çarpma kraterlerinden yoksun geniş düzlük alanlara sahiptir. Bu alanların 100 milyon yıl önce bir çeşit jeolojik etkinlikle şekillendiği düşünülmektedir. 0.95 civarındaki yüksek albedosu (Güneş sisteminin en yüksek yansıtma gücüne sahip cisimlerinden biri), jeolojik etkinliklerin geçmişinde var olduğunun en önemli delilidir. Bu etkinlikler sonucu yüzeyde yer alan kaya ve tozların dağıldığı ve altından bugün izlenen buz yüzeyinin açığa çıktığı düşünülmektedir. Daha önceden değindiğimiz gibi, E halkasını oluşturan buz parçacıklarının, Enceladus'daki volkanik süreçler sonucu oluşan su gayzerlerinden geldiği düşünülmektedir. Ancak Voyager araçları ile bu türden

fişkirmalara ilişkin doğrudan bir kanıt elde edilememiştir. Enceladus'un vakanik etkinliğini tetikleyen sürecin tedirginlik ısıtması olduğu düşünülmektedir. Enceladus'un yörünge dönemi (32.9 saat) ile Dione'nin yörünge dönemi (65.7 saat) arasında 1/2 gibi basit bir oran vardır. Yapılan hesaplamalar, Dione ve Satürn'ün uyguladıkları ritmik tedirginlik etkilerinin, Enceladus yüzeyindeki buzları belirli oranda eritebilecek düzeyde olduğunu göstermiştir. Mimas ve Tethys'in yörünge dönemleri arasında da 1/2 oranı vardır. Ancak çekimsel tedirginlik etkilerinin şiddeti Mimas'da tedirginlik ısınması yaratabilecek ölçüde değildir.

Tethys'in yüzeyi büyük ölçüde Mimas'a benzemektedir. Ayrıca Ay denizlerine benzer, dairesel yapılı ve düşük kraterleşme oranı gösteren alanlara da sahiptir. Bu bölgeler üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, belirli zamanlarda donuk halden kıvamlı bir akışkan haline gelen su ve amonyağın yüzeyde akarak eski çarpma kraterlerini sildiği ortaya çıkmıştır. Tethys'den biraz daha büyük olan Dione de kendine özgü yüzey şekillerine sahiptir. Yörünge hareketi doğrultusundaki yarım küresi, buna zıt taraftaki yarım küresine göre oldukça farklı bir görünüm sergilemektedir. Yörünge hareketi doğrultusuna bakan yüzey yüksek oranda çarpma krateri ile kaplı iken bunun aksi tarafında ağ şeklinde organize olmuş ince ve açık renkli çizikler görülmektedir. Bu çizikler buzlu yüzeyde oluşmuş çatlak ve vadiler olabileceği gibi, volkanik gaz çıkışları sonucu iç bölgelerden yüzeye yeni gelen suyun donarak oluşturduğu buzullar da olabilir. Tethys ve Dione'de kalıntıları izlenen buz volkanizmasının tetiklenmesi için daha düşük ısı artışları yeterli olabilmektedir. Göreli olarak Mimas ve Enceladus'dan daha büyük olan Tethys ve Dione'de buz volkanizmasını harekete geçiren güç kaynağının, iç yapılarında mevcut radyoaktif elementlerin bozunma süreci olduğu düşünülmektedir. Rhea yüzey şekilleri açısından tamamen Dione ile bir benzerlik içerisindedir. Dione'nin yörünge hareketi doğrultusunun zıt tarafındaki yarım küresinde izlenen açık renkli çizikler aynen Rhea'nın ilgili yarım küresinde de bulunmaktadır ve oluşum süreçleri de benzer olmalıdır. Iapetus'un tuhaf ve birbirinden farklı yüzey şekillerine sahip olduğu, keşfedildiği 1671 yılından beri bilinmekteydi. Ekseni etrafında bir dönüşü boyunca ortalama parlaklığında izlenen büyük değişim bu duruma en güzel kanıt olmuştur. Voyager görüntüleri, yörünge hareketi yönündeki ve buna zıt yöndeki yarım kürelerinin belirgin parlaklık farkı gösterdiğini doğrulamıştır. Yörünge hareketi yönündeki yarım küre asphalt kadar karanlık iken (albedosu 0.05), buna zıt yarım

küredeki yansıtma gücü (yaklaşık 0.5) diğer orta boyutlu uydularla eşit değerlere sahiptir. Bilim adamları, Iapetus'un yörünge hareketi boyunca önde giden yarım küresini kaplayan karanlık maddenin, Phoebe uydusundan gelmiş olabileceği üzerinde durmaktadırlar. Satürn'ün en uzak uydusu olan Phoebe, asteroid kuşağından yakalanmış retrograt yönde yörünge hareketi yapan ve yörünge düzlemi Satürn'ün ekvator düzlemi ile çakışmayan bir uydudur. Kimyasal bileşim ölçümleri Phoebe'nin karbonca zengin asteroidler ailesinden geldiğini göstermektedir. Yüzeyindeki kömür benzeri serbest parçacıkların zamanla Satürn'e doğru çekilmiş olabileceği ve bu hareket sırasında Iapetus'un önde giden yarım küresine yapışmış olabileceği düşünülmektedir.

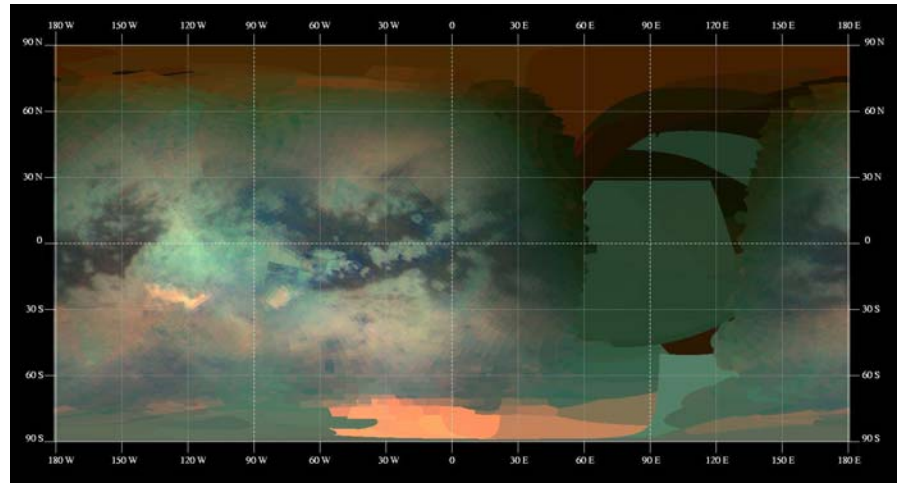
8.8 Yakın Zamanlı Çalışmalar

Voyager araçları ile yapılan gözlemler Satürn gezegeni, halkaları ve uyduları hakkındaki bilgilerimizin önemli ölçüde artmasına ve detaylandırılmasına yardımcı olmuştur. Ancak "*Satürn sistemi*" hakkında cevaplanmayı bekleyen daha çok sayıda soru bulunmaktadır. Bunlar arasında Titan'ın atmosferi ve yüzey yapısı ile ilgili olanlar bilim adamlarının en fazla ilgisini çeken sorulardır. Satürn araştırmalarında, önemli bir aşama, 2004 yılının Eylül ayında Satürn çevresinde yörüngeye oturtulan "*Cassini*" uzay aracıyla sağlandı (Şekil 8.21). Ekim 1997'de Yer'den fırlatılan Cassini aracı NASA, ESA ve İtalyan Uzay Ajansı'nın ortak bir üretimi olup bilimsel projeleri 17 ayrı ülkeden bilim adamlarının katılımı ile gerçekleştirilmektedir. Satürn etrafındaki yörüngesinde 4 yıl boyunca veri toplamak üzere tasarlanan Cassini, Satürn atmosferinin uzun dönemli değişimlerini, halkaların karmaşık dinamiğini ve uyduların yüksek ayırma güçlü görüntüleri yardımı ile jeolojik özelliklerini incelemektedir. Titan uydusu gözlemlerinin Cassini uzay aracı açısından bir ayrıcalığı da bulunmaktadır. Planlanan



Şekil 8.21 Cassini uzay aracı ve Huygens sondası

bu görev süresince Cassini'nin Titan'a 30 civarında yakın geçiş yapacağı tahmin edilmektedir. Bunlardan 25 Aralık 2005 tarihli ilk yakın geçişte, Titan atmosferi içine "Huygens" adı verilen bir sonda bırakıldı. Titan atmosferine girdikten sonra bir paraşüt yardımıyla 2.5 saat boyunca yavaşça süzülen ve bu süre içinde çeşitli ölçüm araçları ile veri toplayan sondanın bulguları ile Titan'ın atmosfer bileşimi büyük ölçüde belirlendi. Sondanın yüzeye yaklaştıkça ve yüzeye indikten sonra aldığı görüntüler ise gerçekten heyecan vericiydi (Şekil 8.22). Cassini aracının Titan'a yapacağı yakın geçişler sırasında yollanacak radar sinyalleri ile, uydunun 500 metre çözünürlüklü detaylı yüzey haritasının elde edilmesi hedeflenmektedir. Şekil 8.23 de 2006 yılı başına kadar yapılan yakın geçişlerle tamamlanan yüzey haritası görülmektedir. Cassini uzay aracı Satürn etrafındaki yörüngesinde diğer buzlu uydulara da yakın geçişler yaparak, hakkında çok az bildiğimiz olan bu uyduların ilginç özelliklerini ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 8.23 Cassini uzay aracının 26.12.2005 (T8) ve 15.01.2006 (T9) tarihlerinde Titan'a yaptığı yakın geçişlerde oluşturulan kızılöte ve görsel bölge yüzey haritası